

Enseñanza

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ENSEÑANZA

INNOVACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGÍA EN LA UNED

El estudiante de geología debe adquirir la habilidad de visualizar e interpretar imágenes geológicas y las relaciones espacio-temporales que implican; y, para ello, debemos ofrecerle herramientas tecnológicas que le ayuden. Nuestro esfuerzo de los últimos años en este sentido se dirige al diseño de guías electrónicas interactivas, que se complementan con el desarrollo de itinerarios de campo virtuales mediante el empleo de software libre. Para este fin *Google Earth*, permite la observación interactiva y la realización de itinerarios geológicos con georreferenciación de cartografía geológica, y con visualización 3D (*SketchUp*) que añade la interpretación geológica en profundidad.

Paralelamente, atendiendo a la creciente demanda de recursos educativos en abierto, el Grupo de Geología de la UNED mantiene una progresiva oferta de cursos MOOC, y trasvasa a estos formatos educativos abiertos todos aquellos materiales diseñados para los estudiantes de la UNED a lo largo de la trayectoria académica del equipo docente, en áreas como Cartografía geológica, Cristalografía, Mineralogía y Petrología.

MATERIALES ELECTRÓNICOS SOBRE LA GEODIVERSIDAD DE ESPAÑA

En España, la geodiversidad viene condicionada por la privilegiada situación de la Península Ibérica entre Europa y África, conformándose así su rica historia geológica durante cientos de millones de años y mediante acontecimientos geológicos muy diversos. Existe, por tanto, una gran variedad y riqueza de elementos geológicos en sí mismos y, por ende, de la geodiversidad como propiedad característica del territorio. Los contenidos académicos que incluyen esta geodiversidad de España, y su historia geológica, requieren para su correcto desarrollo del diseño de salidas de campo [1,2] que permitan al estudiante observar *in situ* cómo se manifiestan sobre

el terreno los conceptos y procesos geológicos estudiados. Sin embargo, dado que esto no siempre es posible, el empleo de nuevas tecnologías permite deslocalizar y destemporizar el acto del aprendizaje, incluso cuando este conlleva la necesaria realización de prácticas de campo, ya que solventan o complementan la organización de viajes o excursiones y/o la necesidad de coincidencia física con el profesor.

En este sentido, *Google Earth* permite visualizar diferentes tipos de imágenes (satélite, relieve, etc.) georreferenciadas y a escala de cualquier punto de la Tierra, constituyendo una potente herramienta con múltiples opciones que pueden resultar de gran utilidad para gestionar localizaciones y así facilitar la interpretación y comprensión del medio físico ofreciendo la posibilidad de cargar imágenes georreferenciadas, superponer su base geológica, y crear rutas [3,4]. Para aprovechar al máximo los modelos tridimensionales que esta herramienta ofrece, se utiliza el software *SketchUp* que permite usar modelos 3D en un contexto educativo, dotándolo de la visión tridimensional de los cortes geológicos, necesarios para la interpretación de las estructuras y la historia geológica.

Mediante el uso de estas herramientas tecnológicas, el diseño de materiales que simulen en entornos virtuales la realidad geológica y paisajística de España, con la descripción y reconocimiento de los contextos y estructuras geológicas más significativos, facilita a los estudiantes el reconocimiento visual de los mismos sin necesidad de viajar a las zonas características, que en la mayoría de los casos resulta imposible de afrontar por las universidades, o simplemente, resulta inabarcable ya que la gran extensión de las estructuras geológicas impiden su correcta apreciación *in situ*.

Por ello, considerando que las imágenes y los mapas georreferenciados constituyen un importante soporte para la enseñanza y la investigación en las ciencias de la Tierra [5], no sorprende que las nuevas posibilidades tecnológicas hayan supuesto ya un recurso didáctico extraordinario del que se nutren desde hace años las universidades. Como ejemplos pueden visualizarse los servicios de la Universidad de Carleton, Canadá: https://serc.carleton.edu/sp/library/google_earth/index.html, y

el USGS: <https://earthquake.usgs.gov/learn/kml.php>. En España, desatacan los proyectos desarrollados por la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM (<https://www.ucm.es/salidas-de-campo-virtuales/salida-de-campo-1>), la UPM- ETSIMM- Departamento de Ingeniería Geológica [6,7] y las interesantes aplicaciones desarrolladas por la Universidad de Salamanca [8,9,10].

Desde la perspectiva docente de la UNED, bajo el amparo de las últimas convocatorias de Proyectos de Innovación docente de la UNED, se ha desarrollado una guía interactiva sobre la Historia Geológica Ibérica, como material didáctico básico que desarrolla los contenidos teóricos a partir de secuencias visuales animadas e interactivas, y actualmente, se está llevando a cabo un proyecto trianual para la realización de los materiales didácticos electrónicos que conformarán una guía sobre la geodiversidad de España, que contiene los diferentes contextos geológicos de la Península Ibérica con relevancia internacional, y el diseño de itinerarios virtuales de campo.

El uso de estos recursos didácticos innovadores contribuye a la mejor formación del estudiante de ciencias ambientales de la UNED, facilitando el desarrollo de la habilidad para visualizar e interpretar imágenes geológicas, y comprender las relaciones espacio-temporales de los procesos geológicos. Además, aproxima la realidad geológica virtual y los itinerarios de campo virtuales a estudiantes con gran dispersión geográfica; y propone e incentiva la realización real de rutas de campo en zonas posiblemente cercanas a su localidad, incluyendo la visita a Geoparques, y a Parques Nacionales. También fo-

menta el empleo de este software libre según su propia creatividad, despertando su interés, aumentando su motivación, y fomentando la destreza del estudiante en la búsqueda de nuevas fuentes de información geológica.

Metodología y desarrollos

Guías electrónicas

- Guía sobre la historia geológica ibérica: Esta guía desarrolla la historia geológica ibérica partiendo de la perspectiva global de la evolución geológica de la Tierra, explicando la conformación de Iberia en dos grandes etapas: anterior y posterior al supercontinente Pangea, y desarrollando cronológicamente su historia geológica través de los tres grandes ciclos orogénicos que han dejado huella en la Península. Partiendo de un menú principal que permite elegir el marco de estudio, la guía avanza, en todos estos apartados, a través de secuencias de imágenes animadas cronológicamente, acompañadas de las correspondientes explicaciones en los menús de ayuda. Se encuentra publicada en el curso virtual de diferentes asignaturas del Grado en Ciencias Ambientales de la UNED (Figura 1).
- Guía sobre la geodiversidad de España: El contenido de esta guía se organiza según los contextos geológicos españoles declarados de relevancia internacional en la Ley 33/2015, que se están abordando secuencialmente en tres fases (proyecto 2017-2020). Desde la perspectiva académica, se introduce cada contexto geológico en interactividad con los geoparques, parques nacionales e itinerarios virtuales

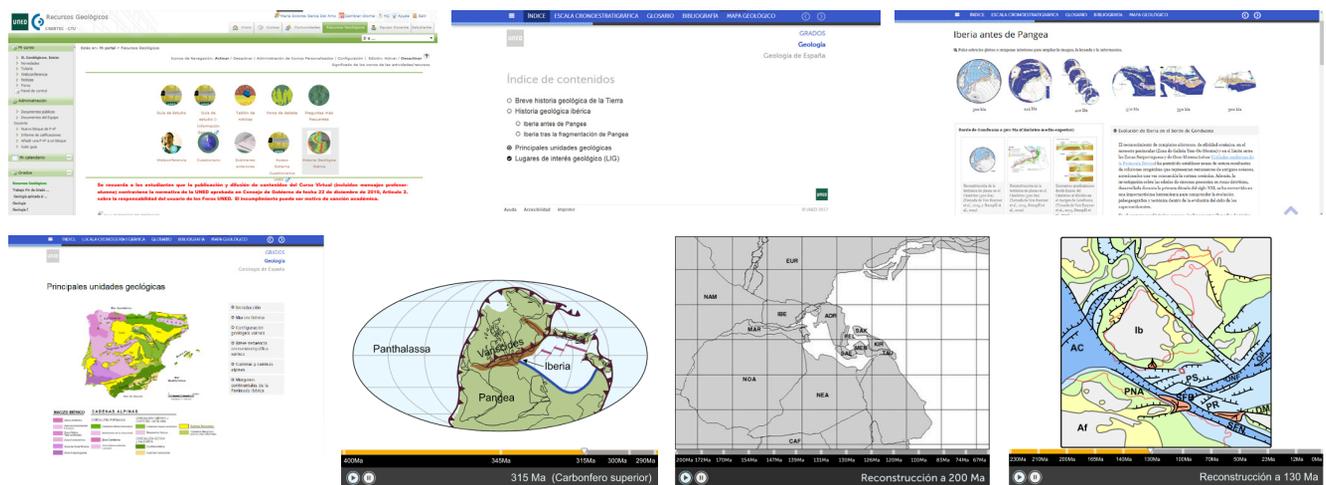


Figura 1. Diferentes capturas de pantalla de la Guía Interactiva sobre la Historia Geológica Ibérica de la UNED. Arriba a la izquierda se muestra la pantalla principal de un curso virtual de la UNED donde se encuentra publicada; arriba en el medio y en la derecha, el índice de contenidos de la Guía, con un ejemplo del acceso interactivo a uno de ellos; y abajo, ejemplos de las animaciones que guían los diferentes contenidos.

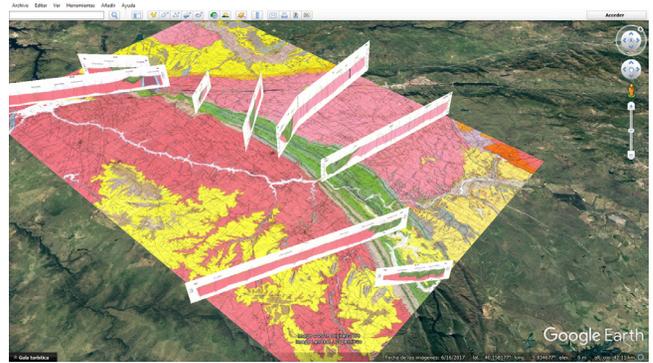
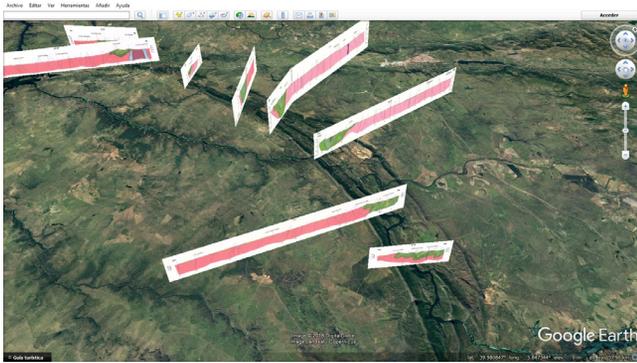


Figura 3. Capturas de pantalla del archivo kmz Google Earth mostrando los conjuntos de cortes geológicos georreferenciados, y a la derecha, sobre la capa de mapa geológico georreferenciado, en Monfragüe.

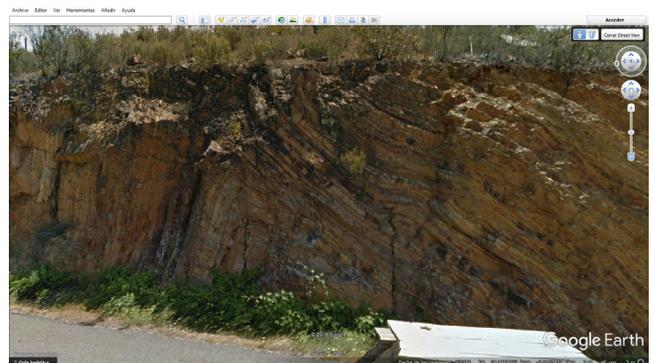
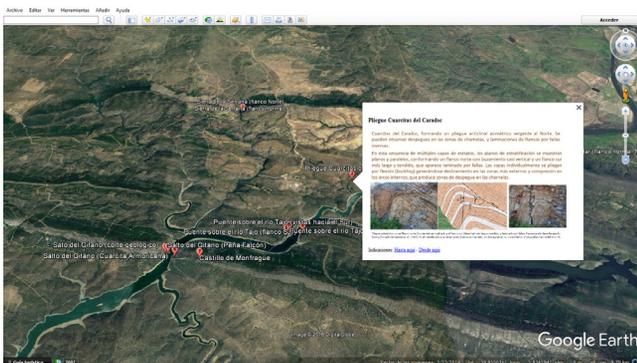
tión en la ubicación correspondiente. Esto permite generar un modelo tridimensional de la geología. El modelo obtenido se exporta como un archivo kmz, lo que permite visualizarlo en *Google Earth*, al tiempo que se puede combinar esta información con otras capas geológicas y/o marcas de paradas o fichas.

Para la observación detallada de los afloramientos geológicos se utiliza la herramienta *Google Street View* (Figura 4). Es una prestación de *Google Earth* y *Google Maps* que proporciona panorámicas a nivel de carretera (360 grados de movimiento horizontal y 290 grados de movimiento vertical; y muestra fotografías tomadas desde 9 cámaras montadas sobre una flota de automóviles,

que se ofrecen sobre las imágenes de fondo previamente tomadas desde satélite que componen los mapas de Google.

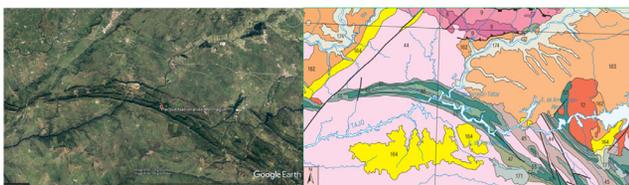
CURSOS DE GEOLOGÍA EN LOS NUEVOS ENTORNOS MOOC

Un MOOC o COMA (Curso Online Masivo en Abierto) es un curso compuesto fundamentalmente de Recursos Educativos Abiertos (OER) y diseñado para poder ser cursado de forma autónoma a través de Internet por cualquier persona, sin necesidad de contar con un profesor al otro lado. Se trata de un nuevo modelo educativo que responde a la creciente demanda de recursos en



Presentación de la ruta

El sinclinal de Monfragüe tiene magnitud kilométrica y una orientación general NO-SE (adoptando un rumbo casi O-E en su parte media, retomando la dirección varisca, NO-SE, al oeste de la gran falla de Plasencia). El sinforme está constituido por rocas del Paleozoico (Ordovícico-Silúrico) y su estructura y litología condiciona la morfología y el relieve característico del Parque. Los tres niveles cuarcíticos, que de muro a techo son la Cuarcita Americana, la Cuarcita del Caradoc y la Cuarcita del Criadero, forman los tres resaltes morfológicos que constituyen el relieve.



Recorrido geológico

La ruta se realiza N-S, en un corte transversal a la estructura del sinclinal, que presenta una vergencia hacia el NE y cuyo eje tiene una dirección de inmersión hacia el SE. La estructura regional de Monfragüe responde a un modelo generado durante la etapa principal de la orogenia Varisca, si bien varias fases de deformación que explican la superposición de estructuras a todas las escalas, desarrollándose un plegamiento asimétrico del conjunto con flanco Sur verticalizado y localmente invertido, mientras que el flanco Norte es más tendido. Entre ambos flanco principales, la diferente competencia de los materiales origina repliegues complejos.

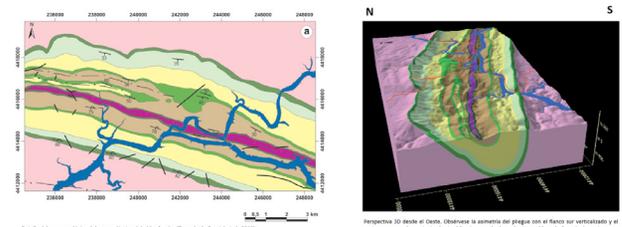
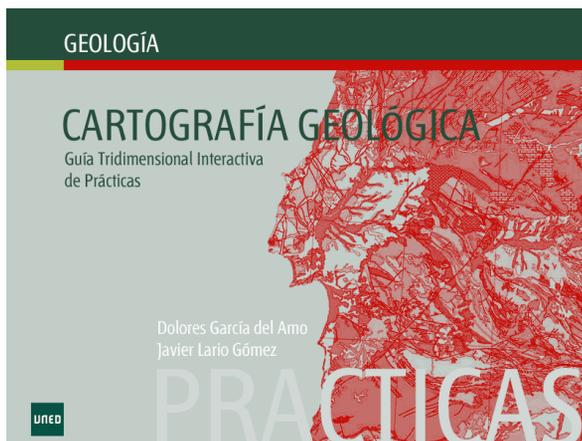


Figura 4. Capturas de pantalla del archivo kmz Google Earth con la herramienta Street View activada (abajo a la derecha), que permite acercarse a los afloramientos obteniéndose imágenes de detalle de las formaciones geológicas de cada parada, desde la que se puede abrir la correspondiente explicación resumida (arriba a la izquierda) y el archivo con información completa de la zona (abajo).



Visualización tridimensional de las horizontales de un plano

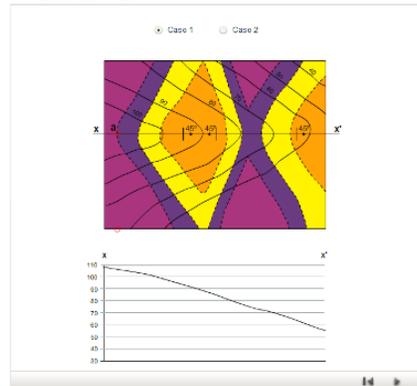
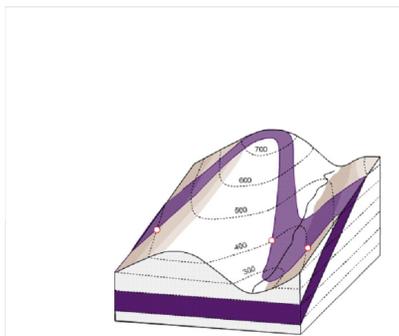


Figura 5. Capturas de pantalla del curso MOOC de Cartografía geológica con ejemplos de algunos contenidos. https://iedra.uned.es/courses/UNED/cart_geo/2016_T2/about.

abierto, nacido en las universidades más prestigiosas del mundo, que está experimentando un crecimiento solo comparable con la demanda de los mismos.

Los MOOC requieren registro online, ofrecen posibilidad de mantener debates y actividades entre pares, tienen apoyo de un facilitador, y todos los usuarios participan en el crecimiento del conocimiento. Además, ofrecen la posibilidad de realizar una prueba final que, una vez superada, permite certificar el aprovechamiento del conocimiento ofrecido.

Cartografía Geológica. Guía tridimensional interactiva de prácticas

Este curso (Figura 5) está diseñado para enseñar a evaluar, interpretar y sintetizar información geológica elemental obtenida sobre el terreno y sobre mapas geológicos. Esto implica la necesaria adquisición de visión espacial, es decir, de la habilidad de reproducir e imaginar la estructura tridimensional de los diferentes componentes geológicos, así como de las relaciones espaciales entre ellos.

Para ello, este curso comienza mostrando los conceptos y principios geológicos básicos que rigen la geometría,

Cálculo del buzamiento real a partir del buzamiento aparente

El buzamiento de un estrato es el ángulo de inclinación de su línea de máxima pendiente. Cualquier otra línea contenida en el plano de la capa tendrá un ángulo de inclinación menor que el buzamiento.

Siguiendo la construcción geométrica de la figura:

$$\operatorname{tg} \beta' = AE/EC \quad \operatorname{tg} \beta = AE/ED \quad \cos \alpha = ED/EC$$

Por tanto, el buzamiento aparente viene dado por:

$$AE/EC = AE/ED \cdot ED/EC$$

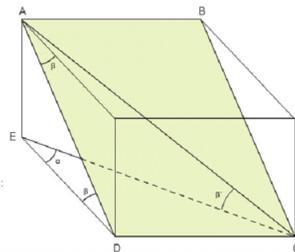
es decir,

$$\operatorname{tg} \beta' = \operatorname{tg} \beta \cos \alpha$$

Despejando el buzamiento real β :

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta' / \cos \alpha$$

$$\beta = \arctg (\operatorname{tg} \beta' / \cos \alpha)$$



ría, orientación espacial y relaciones de la mayoría de las estructuras geológicas y su representación en los mapas geológicos, utilizando el mapa topográfico y, por tanto, la interacción con la superficie topográfica, como base de la representación. A continuación se dedica un apartado a la explicación pormenorizada de los diferentes cálculos geométricos que se aplican a la obtención de parámetros de orientación espacial de estas estructuras. Se suministran ejemplos sobre cada tipo de problema planteado, desglosando cada uno paso a paso con visión en dos y tres dimensiones. Finalmente se explica la construcción de cortes geológicos a partir de la representación en mapas geológicos de las diferentes estructuras mostradas inicialmente. El temario del curso es el siguiente:

PRINCIPIOS BÁSICOS DE CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
Base del mapa geológico: mapa topográfico
Intersección de capas geológicas planas con topografía
Capas plegadas. Intersección de los pliegues con la topografía
Capas fracturadas. Intersección de las fallas con la topografía
Concordancia y discordancia entre capas. Intersección con la topografía

CÁLCULOS GEOMÉTRICOS EN ZONAS CON CAPAS INCLINADAS ($0^\circ < \beta < 90^\circ$)
Cálculo del buzamiento real a partir del buzamiento aparente
Proyección de las capas en el plano. Problema de los tres puntos
Visualización tridimensional de las horizontales de un plano
Determinación del trazado cartográfico de una capa inclinada
Determinación de la dirección y el buzamiento de una capa inclinada a partir de su trazado cartográfico
CORTES GEOLÓGICOS
Construcción de cortes geológicos a partir del mapa geológico
Cortes geológicos en mapas con estratos horizontales
Cortes geológicos en mapas con pliegues
Cortes geológicos en mapas con fallas
Cortes geológicos en mapas con discordancias

CristaMine: Cristalografía, Cristalografía óptica, Mineralogía, Mineralogía descriptiva y Petrología

A comienzos del 2000, un grupo de profesores del Departamento de Ciencias Analíticas de la UNED y del Departamento de Ingeniería Geológica de la ETSI de Minas de Madrid (UPM), a tenor de las posibilidades ofrecidas

por la aplicación de las nuevas tecnologías (especialmente Internet) a la educación universitaria, establecieron un marco que permitiera promover actividades de I+D para la mejora y fomento de la docencia de la Cristalografía y Mineralogía en español. Fruto de esa colaboración, se publicó la web CristaMine, con cursos de Cristalografía, Cristalografía óptica, Mineralogía, Mineralogía descriptiva y Gemología [12,13,14].

En los últimos años, se han revisado y actualizado los cursos que contenía la antigua web, añadiéndose uno sobre Petrología descriptiva, y diseñándose todo el conjunto de cursos, con sus animaciones, bajo nuevos formatos de Internet (html5) (Figura 6). Estos cursos están siendo ofrecidos en abierto al público en general (aunque con la recomendación de haber cursado estudios previos de Bachillerato en Ciencias) como cursos MOOC.

Estos recursos educativos permitirían también que el equipo docente pudiera sustituir ocasionalmente la presencialidad de las prácticas para ciertos estudiantes con dificultades importantes para asistir al laboratorio, en las asignaturas con prácticas obligatorias, mediante la evaluación de los conocimientos adquiridos tras la realización de los cursos MOOC correspondientes a los cursos prácticos.

El temario de los cursos es el siguiente:

The image shows a composite of screenshots from the CristaMine MOOC platform. On the left, a circular navigation menu lists courses: 'Curso de Cristalografía', 'Curso de Cristalografía Óptica', 'Curso de Mineralogía Descriptiva', 'Curso de Mineralogía', and 'Curso de Gemología'. Below this is a navigation bar with 'Inicio', 'Bibliografía', and 'Ayuda'. The main content area displays several examples: a petrology diagram with axes for temperature (T) and pressure (P), a 'Bipirámide rómbica' (rhombohedral bipyramid) diagram, and a table titled 'Rocas metamórficas' (Metamorphic Rocks) with columns for rock type, texture, grain size, observations, and products.

Número de la roca	Textura	Tamaño de grano	Observaciones	Producto
100	Blanca	100-200 μm	Presencia de cristales, superficie lisa	Calcita
101	Blanca	100-200 μm	De tiempo a largo de superficie irregular, lisa	Plomita
102	Blanca	100-200 μm	Presencia de inclusiones, lisa	Fluorita

Figura 6. Capturas de pantalla de la serie de cursos MOOC CristaMine (Cristalografía, Mineralogía y Petrología), con ejemplos de algunos contenidos. https://iedra.uned.es/courses/course-v1:UNED+Cristal_001+2017/about.

CRISTALOGRAFÍA
El estado cristalino
Introducción
Redes cristalinas
Simetría
Simetría con traslación
Morfología de los cristales
Introducción
Clases de simetría
Formas cristalinas
Proyección estereográfica
Elementos de simetría en formas cristalográficas
Atlas de formas cristalinas con sus proyecciones estereográficas
Difracción de rayos X
Introducción
Ecuaciones de Laue
Ley de Bragg
Posiciones atómicas
Métodos de difracción de rayos X
Estructuras cristalinas
Introducción
Coordinación de iones
Tipos de estructuras cristalinas
Cristalografía aplicada
CRISTALOGRAFÍA ÓPTICA
Introducción
Los cristales y la luz
El comportamiento de la luz al atravesar los cristales
Luz polarizada
Cristales isotropos/anisotropos a la luz
Microscopía óptica de polarización
Microscopio óptico
Los cristales al microscopio
Cristales ópticamente isotropos
Cristales ópticamente anisotropos
Retardo
Cristales uniáxicos/biáxicos
Ejemplos de cristales al microscopio
MINERALOGÍA
Química mineral
Solución sólida
Desmezcla mineral
Cálculos minerales
Representación gráfica de la composición mineral
Termodinámica mineral
Cristalización de minerales

Propiedades físicas de minerales
Morfología de cristales
Exfoliación, partición y fractura
Dureza y tenacidad
Peso específico
Propiedades ópticas
Otras propiedades
Métodos de análisis mineralógico
Introducción
Separación de las fracciones monominerales
Métodos con instrumentación sencilla
Métodos fundamentales de análisis instrumental
Otros métodos de análisis instrumental mineralógico
MINERALOGÍA DESCRIPTIVA
Introducción
Definiciones básicas
Clasificación de minerales
Descripción de clases
Elementos nativos
Sulfuros y análogos
Óxidos e hidróxidos
Haluros
Carbonatos
Carbonatos
Nitratos
Boratos
Fosfatos, arseniats y vanadatos
Sulfatos y cromatos
Wolframatos y molibdatos
Silicatos
Buscador de minerales
Orden alfabético
Clasificación
Composición
Sistema cristalino
INTRODUCCIÓN A LA PETROLOGÍA DESCRIPTIVA
Rocas ígneas
Rocas sedimentarias
Rocas metamórficas

REFERENCIAS

- [1] Moya-Palomares ME, Acaso E, Andrade A, Azevêdo MT, Calonge A, Centeno JD, Legoinha P, Marticorena I, Montero E, Vicente R (2006). Recorridos Geológicos Virtuales: Una propuesta docente. Livro de Actas del XIV Simpósio Ibérico do Ensino da Geologia (Aveiro, Portugal), 365–370.

- [2] Martínez E (2017); La importancia de las rutas geológicas en la educación en geociencias. *Tierra y Tecnología* 49.
- [3] García del Amo D, Antón L, Pastor C (2017). Geología virtual: una experiencia docente virtual desde el itinerario geológico real. *100cias@uned* 10, 255–259.
- [4] García del Amo D, Antón L (2018). La enseñanza de la Geología de España apoyada por el uso de nuevas tecnologías. Libro de Actas del XX Simposio sobre la Enseñanza de la Geología, AEPECT. Menorca, 9-14 julio de 2018 (Duque-Macias J y Bernal AP (Eds.), 193–202.
- [5] Pampliega E, 2013. Salidas de campo. Tutorial Google Earth. Curso Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG). <http://icog.es/cursos/index.php/salidas-de-campo-tutorial-google-earth>.
- [6] Espí JA, Rodríguez E, Ortiz JE (2012). Guía Visual de Geología Estructural I (CD). E.T.S.I. de Minas, Departamento de Ingeniería Geológica, Universidad Politécnica de Madrid.
- [7] Torres Pérez-Hidalgo TJ, Ortiz Menéndez JE (2014). Ayuda virtual al aprendizaje de Geología en la E.T.S.I Minas y Energía de Madrid. “Teoría de la Educación”, v. 15 (n. 3); pp. 24-35. ISSN 1130-3743.
- [8] Legoinha P, Martínez-Graña A, González-Delgado A (2017). O papel das novas tecnologías na cartografía geológica, ensino de Ciências da Terra e geoturismo. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural 2ª época* 14, 375–393.
- [9] Martínez-Graña AM, Goy JL, Cimarra C (2013). A virtual tour of geological heritage: Valourising geodiversity using Google Earth and QR code. *Computers and Geosciences* 61, 83–93.
- [10] Martínez-Graña AM, Serrano I, González-Delgado JA, Dabrio CJ, Legoinha P (2017). Digital geotourism: tools and resources for sustainability and tourism management. Georoute “route of the fossil footprints” (Monsagro, Salamanca, Spain). *International Journal of Digital Earth* 10, 121–138.
- [11] Walsh G J (2009). A Method for Creating a Three Dimensional Model from Published Geologic Maps and Cross Sections. Open-File Report 2009–1229 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1229/pdf/ofr2009-1229.pdf>.
- [12] García del Amo D, Calvo Pérez B, Gavrilenko E, Cueto Hirschberger R (2000). WEB CRISTAMINE: Docencia de Cristalografía y Mineralogía en Internet. Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Coruña 2000. Vol. 25, 119–122.
- [13] García del Amo D, Calvo Pérez B, Gavrilenko E, Cueto Hirschberger R, Durand JS, García Mayor A (2000). Docencia de Cristalografía, Mineralogía y Gemología en la red Internet: Web Cristamine. Actas de las Jornadas UNED 2000: Conocimiento, Método y Tecnologías de la Educación a Distancia, Palencia, Junio 2000, 352–355.
- [14] García del Amo D, Calvo Pérez B, Gavrilenko E, Cueto Hirschberger R, Durand JS, García Mayor A (2000). Cristamine website - a new internet resource for teaching in Crystallography, Mineralogy and Gemology. Mineralogical Museums in the 21st Century, collected papers International Symposium on the History of Mineralogy and Mineralogical Museums, Gemology, Crystal Chemistry and Classification of Minerals, Junio 2000, 142–143.

Dolores García del Amo
 Loreto Antón López
 Área de Geología
 Dpto. de Ciencias Analíticas